Méthodes de caractérisation des périphériques de restitution audio

Benoît Navarret, Timothée Baschet

CICM, MSH Paris Nord, Université Paris 8, 2008.

Table des matières

Documents annexes à consulter

Annexe 1 : **Loudspeaker measurements and their relationship to listener Preferences : Part 1**
Floyd E. Toole
Journal of the Audio Engineering Society, Vol.34, N°4, 1986 April, pp.227-235

Annexe 2 : **Understanding Impedance**
Revue *Sound on Sound*, Janvier 2003

Annexe 3 : **Dossier FNAC : Éléments séparés stéréo et Home Cinéma,**
Sélection des Laboratoires d'essais 2008

Annexe 4 : **Extrait du magazine *La Revue du Son* n°329 Mai 2008**

Annexe 5 : **Comparison of four subwoofer measurement techniques**
Manuel Melon, Christophe Langrenne, David Rousseau et Philippe Herzog
Journal of the audio engineering society, Vol 55, N°12, 2007 December, pp.1077-1091

Annexe 6 : **Thèse universitaire « Différences entre enceintes acoustiques : une évaluation physique et perceptive »**
Soutenue par *Mathieu Lavandier le 19 Décembre 2005 Directeurs de thèse : Philippe Herzog, Sabine Meunier ; Université de la Méditerrannée Aix-Marseille II*

Annexe 7 : **AES recommended practice for profesional audio : Subjective evaluation of loudspeakers**
Journal of the Audio Engineering Society, Vol.44, N°5, 1996 May, pp.383-401

Avant-propos

1) Données constructeurs et réalité perceptive

Les constructeurs fournissent avec leurs produits des fiches techniques donnant des informations sur certaines des caractéristiques du matériel qu'ils proposent.

Pour des enceintes acoustiques, les informations les plus couramment fournies sont les suivantes :

- le nombre de voies (nombre de haut-parleurs),
- la distinction entre « enceinte active » (dotée d'un amplificateur intégré) ou « enceinte passive » (qui nécessite un amplificateur externe),
- la puissance RMS de chaque haut-parleur,
- la bande passante de l'enceinte,
- la sensibilité des haut-parleurs (ou rendement)
- la pression SPL maximale,
- l'impédance des haut-parleurs (l'impédance de charge pour les amplificateurs),
- la consommation électrique,
- les dimensions et le poids.

Cependant, la confrontation des données de plusieurs constructeurs révèle qu'il n'est pas facile de comparer deux produits concurrents car les méthodes de caractérisation ne semblent pas identiques.

Est-ce préjudiciable ? Pas nécessairement. Si ces données étaient à elles seules le reflet de la qualité du produit, alors elles seraient suffisantes. Or, les autres acteurs du marché de l'audio (la presse spécialisée, les organismes habilités à délivrer des labels, les utilisateurs…) ne se contentent pas de lire ces fiches techniques. Ils basent leur jugement sur une série de tests complémentaires, selon des méthodes qui peuvent répondre à un cahier des charges très strict.

La visite du Laboratoire National de Métrologie et d'Essai (LNE) a rendu compte de l'exceptionnelle qualité des équipements et d'une approche à la fois rigoureuse et raisonnée.
Les ingénieurs du LNE confrontent des données dites « objectives » (bande passante, sensibilité, directivité, puissance…) et des données « subjectives » (écoute critique par un panel d'ingénieurs du son).

2) Validité des données constructeurs

Quelques remarques préliminaires :

- On ignore parfois comment les industriels réalisent leurs mesures,
- Seules les grandes sociétés peuvent bénéficier d'installations garantissant de bonnes conditions pour effectuer les mesures (chambre anéchoïque ou semi-anéchoïque, capteurs, ingénieurs, méthodologie),
- Les courbes sont parfois lissées (par exemple, la courbe de réponse),
- Aucun magazine spécialisé n'est vraiment fiable dans l'interprétation des mesures effectuées. Quelles sont leurs installations et/ou leur capacité d'analyse ?
- L'acquisition de matériel est parfois guidée par les normes, telles que le Dolby ou le THX, qui préconisent du matériel,
- Beaucoup d'achats se font par ouï-dire.

C'est pourquoi, le travail d'inventaire des méthodes de caractérisation des périphériques de restitution ne peut être exhaustif dans la mesure où les pratiques sont propres à chaque laboratoire (quand ils existent), que certaines données sont faussées et d'autres difficilement vérifiables.

3) <u>En résumé</u>

- Les données constructeurs guident le client dans ses choix.

> *<u>Exemple</u> : Le client recherche une enceinte pour diffuser des sons basse fréquence à fort volume. Il va consulter les fiches techniques et privilégier les produits affichant des performances optimisées pour cet usage (bande passante 30Hz à 5kHz, haut-parleurs de plus grand diamètre, volume du caisson assez important)*

- Les données constructeurs ne sont pas suffisantes pour permettre au client de juger de la qualité du produit en terme de rendu sonore.

> *<u>Exemple</u> : La bande passante est-elle perceptivement plus pertinente que l'équilibre spectral de l'enceinte au sein de cette bande passante ? La sensation de saturation du signal (défaut de non-linéarité de la réponse en fréquence) n'est-elle pas plus préjudiciable qu'un défaut de puissance ? La disposition judicieuse des enceintes n'est-elle finalement pas plus importante que l'analyse de directivité des haut-parleurs ?*

- Les constructeurs donnent parfois des informations incomplètes.

> *<u>Exemple</u> : Les pressions SPLmax peuvent être indiquées sans que soient précisées les fréquences associées ou savoir comment le seuil maximum a été apprécié. Des courbes peuvent être lissées (comme courbe de réponse en fréquence)*

- Il existe des mesures normalisées mais les conditions réelles de mise en oeuvre sont méconnues.

> *<u>Exemple</u> : L'environnement est important (salle anéchoïque, champ libre, salle réverbérante…) car il implique des corrections lors de l'interprétation des résultats.*

- Des tests dits « subjectifs », effectués auprès d'auditeurs, sont complémentaires et indispensables pour dresser un diagnostic du matériel. Il faut pouvoir disposer d'indicateurs tenant compte des spécificités de la perception humaine.

> *<u>Exemple</u> : L'interprétation du rapport « signal sur bruit » doit tenir compte des caractéristiques fréquentielles du « signal » et du « bruit ». Un rapport Signal/Bruit de 90dB avec un bruit parasite ayant une accentuation fréquentielle autour de 1kHz sera plus préjudiciable perceptivement qu'un rapport Signal/Bruit de 70dB autour de 50Hz.*

Introduction

La caractérisation des enceintes acoustiques : quelles méthodes ?

En guise d'introduction, l'article *« Loudspeaker measurements and their relationship to listener Preferences »* présente une revue historique des différentes approches et des questionnements relatifs à la caractérisation des enceintes acoustiques. Quelles mesures faut-il faire ? Faut-il privilégier une captation en champ proche ou lointain ? En champ libre ou en salle anéchoïque ? Quels sont les paramètres pertinents pour l'écoute ?
Il fait état des divergences d'opinions sur la mesure des enceintes et montre que toute méthode est avant tout un compromis.

Voici quelques conclusions importantes citées dans l'article :

- Il faut confronter des mesures objectives et subjectives,
- La bande passante et la réponse en fréquence sont déterminantes pour l'appréciation des qualités de l'enceinte mais les avis divergent sur la façon de les mesurer (champ proche ou lointain, nature de la salle, qu'est une enceinte idéale ?…),
- La phase ne semble pas déterminante. Des tests effectués sur des signaux de laboratoires (sinus) ont donné des résultats qui n'ont pu être vérifiés sur des signaux complexes (musique),
- Une accentuation large bande de la réponse fréquentielle d'une enceinte sera plus perceptible qu'un évènement à bande très étroite. Ces remarques dépendent des propriétés perceptives de l'oreille (par exemple : la zone de grande sensibilité de l'oreille entre 1000 et 3000Hz),
- Quant aux distorsions, les avis divergent sur l'importance des non-linéarités et les seuils de perception des distorsions.

🕮 *Document à consulter : Annexe 1*
Loudspeaker measurements and their relationship to listener Preferences : Part 1
Floyd E. Toole
Journal of the Audio Engineering Society, Vol.34, N°4, 1986 April, pp.227-235

Les méthodes de caractérisation présentées par la suite concernent principalement les enceintes et les amplificateurs.
La première partie sera consacrée aux mesures dites « objectives », et la seconde, aux tests « subjectifs ».

A. Mesures « objectives »

Note : Les exemples porteront sur du matériel utilisé par les partenaires du projet HD3D-IIO. Les marques citées seront donc Dynaudio, Genelec, JBL et Mackie. Quelques enceintes monitoring KRK sont également mentionnées car les informations techniques fournies sont très incomplètes malgré la qualité reconnue des produits de marque.

A.1. Signaux utilisés

Le principe de la plupart des tests est d'injecter un signal (A) à l'entrée d'un système (une enceinte acoustique, un amplificateur…), d'enregistrer le signal de sortie (B), de l'analyser et de comparer les deux signaux.

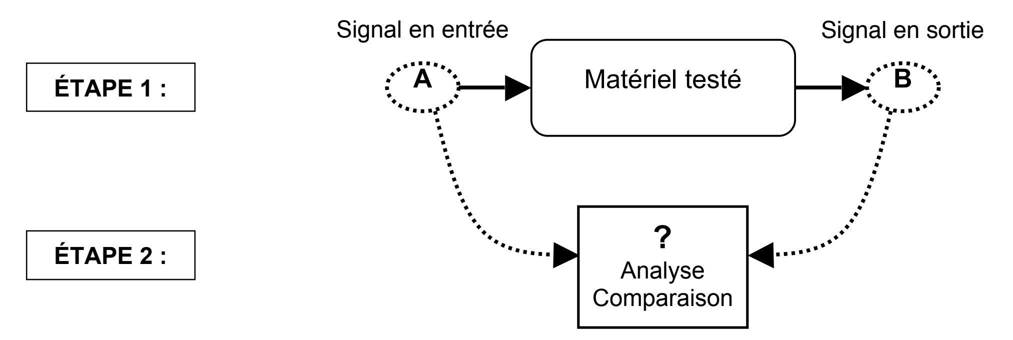


Figure 1 : Déroulement d'un test objectif

Les tests objectifs sont généralement effectués à partir d'impulsions, de bruits blanc ou rose, d'ondes carrées, de sinus ou de multisinus (fréquence fixe ou rampe (*sweep* en anglais)) et parfois aussi de musique.

Les différents signaux sont complémentaires :

- Un sinus n'est constitué que d'une seule fréquence. Il est utilisé pour tracer la courbe de réponse en fréquence, évaluer la directivité d'une enceinte et déterminer le taux de distorsion harmonique,
- Les multisinus sont composés de plusieurs sinus émis simultanément. Ils peuvent révéler des problèmes d'intermodulations c'est-à-dire des distorsions du signal provenant de l'interférence de plusieurs composantes de l'enceinte (haut-parleurs, composants électroniques, géométrie et volume des caissons),
- Les ondes carrées servent à évaluer la capacité des amplificateurs à restituer fidèlement un signal dont les valeurs de tension varient très brusquement,
- Les impulsions permettent d'évaluer le temps de réponse de l'enceinte et l'amortissement,
- Les bruits (blanc ou rose) balaient la totalité du spectre audible. Ils sont employés pour calibrer des enceintes ou des salles (norme Dolby ou THX par exemple),
- Un extrait de musique peut être utilisé pour mesurer le niveau maximum de pression acoustique.

A.2. Caractéristiques mesurées

Le but de cette partie est de rappeler la définition des grandeurs qui sont mesurées par les constructeurs, de préciser que les unités sont normalisées mais que de légères différences dans la présentation de ses résultats rendent la comparaison difficile, et enfin, d'insister sur le fait que les conditions de captation sont primordiales et influencent nécessairement l'interprétation des résultats.

A.2.1. Bande passante

La bande passante renseigne sur la capacité de l'enceinte à restituer une plage de fréquences. Un graphe est tracé et permet de mettre en évidence la bande de fréquences que l'enceinte peut restituer sans trop d'atténuation.

Exemple :	***Enceinte Genelec 1038A***	*Bande passante, mesurée en champ libre : 35Hz - 20kHz (± 2.5dB)*

Cela ne veut pas dire que la réponse est uniforme sur toute la bande de fréquences. La courbe de la bande passante est généralement « accidentée ». Des constructeurs masquent volontairement ces modulations et lissent les courbes. Dans l'exemple précédent, ±2.5dB indique qu'il y a des écarts de 2.5dB entre certaines fréquences de la bande passante 35Hz-20kHz. Cette valeur varie selon les modèles et les types d'enceintes (sono, monitoring, hi-fi) mais ne doit pas être négligée.

Exemples :	***Enceinte JBL 4670D***	*Bande passante : 40Hz - 16 kHz (± 3 dB)*
	Enceinte Mackie HR824mk2	*Bande passante : 37Hz – 20kHz (± 1.5 dB)*

La bande passante est mesurée à -3dB (lorsque c'est précisé). Cela signifie qu'un sinus ou un multisinus (fréquence fixe ou rampe) est injecté dans l'enceinte à un niveau de -3dB. Le signal diffusé par l'enceinte est ensuite capté, enregistré et analysé. Si aucune perte n'est constatée, le niveau mesuré (et non perçu) en sortie sera uniforme quelle que soit la fréquence.

Remarque : l'analyse suppose que le capteur (le microphone) ait lui-même des caractéristiques qui ne biaisent pas les résultats. D'où le recours à des microphones dits « de mesure » dont la réponse doit être plate pour ne pas apporter de coloration particulière. Son bruit propre ne doit pas être préjudiciable et son comportement reproductible… Or, quels microphones les constructeurs et les laboratoires utilisent-ils ? Ce n'est pas dit.

La distance entre l'enceinte et le microphone est réévaluée pour chaque enceinte : cette distance va dépendre du nombre de voies et de la taille des haut-parleurs. Elle peut varier de 70cm (pour de petites enceintes) à 2m. Le microphone est placé dans l'axe de l'enceinte. Dans le cas d'une enceinte dotée d'un seul haut-parleur, le microphone pointe au centre de la membrane. Dans le cas d'enceintes multivoies, le placement en hauteur du microphone est peut-être plus délicat à connaître.

Le lieu de mesure n'est pas forcément précisé. JBL et Dynaudio semblent ne pas donner cette information contrairement à Mackie et Genelec.

Exemples :	***JBL 4670D***	*Bande passante : 40Hz - 16kHz (± 3 dB)*
	Dynaudio AIR6	*Bande passante : 40Hz - 22kHz (± 3 dB)*
	Genelec 1038A	*Bande passante, mesurée en champ libre : 35Hz - 20kHz (± 2.5dB)*
	Mackie HR824mk2	*Bande passante, mesurée en champ libre : 37Hz – 20kHz (± 1.5 dB)*

La fréquence de coupure correspond à la fréquence à partir de laquelle la puissance chute de moitié, ce qui correspond à une baisse de -3dB par rapport au niveau moyen de diffusion. Il permet ainsi de délimiter la bande passante.

Exemple : **Genelec 1038A** *Fréquence de coupure inférieure (-3dB) : ≤ 33Hz*
Fréquence de coupure supérieure (-3dB) : ≥ 20kHz

En résumé

Le protocole de mesure de la bande passante se déroule comme suit :
- Sinus ou multisinus injecté a priori à -3dB dans l'enceinte,
- Captation du signal acoustique par des microphones,
- Analyse et dessin du graphe correspondant à la réponse en fréquence de l'enceinte.

Mais la mesure de la bande passante peut s'accompagner de plusieurs inconnues :
- La fidélité de la courbe de réponse si certaines caractéristiques gênantes sont masquées,
- La largeur et la forme de la fenêtre d'analyse lorsque le signal est numérisé,
- Le placement précis des microphones,
- Le détail de la chaîne de captation du signal : quels microphones ? Quel support d'enregistrement ?
- Quel lieu pour faire les mesures ?

A.2.2. Niveau de pression acoustique et sensibilité d'une enceinte

Le niveau de pression acoustique dit « SPL » (pour *Sound Pressure Level*) correspond à la pression acoustique exercée par le haut-parleur lors de son déplacement. Cette valeur s'exprime en décibel (dB SPL) et se mesure avec un sonomètre. Le signal peut aussi être capté par un microphone.

Le niveau de pression acoustique est relevé pour mesurer la sensibilité (ou rendement) des haut-parleurs ainsi que la pression maximale qu'ils peuvent délivrer.

La sensibilité d'un haut-parleur est une donnée importante pour choisir la puissance de l'amplificateur qui lui est associé. Plus la sensibilité d'une enceinte est élevée, moins les haut-parleurs ont besoin de puissance (mesurée en watts) pour se déplacer et produire une onde acoustique. Autrement dit, pour une puissance donnée, une enceinte à faible rendement produira une pression acoustique inférieure à celle d'une enceinte à haut rendement.

Cette mesure est normalisée puisque la sensibilité s'exprime en dB SPL pour 1 watt à 1 mètre de l'enceinte (dB SPL / W / m). Le capteur (microphone, sonomètre) est donc placé à 1 mètre de l'enceinte, certainement dans l'axe du caisson. Mais où précisément ?

Exemple : **JBL 4670D** *Rendement : 100 dB 1 W (2.83V) 1 m (3.3 ft)*
Ce rendement de 100dB/1w/1m signifie que les haut-parleurs de l'enceinte exercent une pression acoustique de 100dB à 1 mètre lorsqu'on injecte à ses bornes 1 watt de puissance.

La pression acoustique maximale (SPLmax) détermine le seuil à partir duquel le taux de distorsion est préjudiciable à l'écoute. Le SPLmax est aussi un indicateur de la dynamique maximale de l'enceinte. Il est par ailleurs probable, selon les gammes de produits, qu'un fonctionnement prolongé au-delà de cette limite entraîne la détérioration de l'enceinte.

La pression acoustique maximale est mesurée pour chaque fréquence de la bande passante. L'oreille humaine ne percevant pas toutes les fréquences avec la même intensité, les mesures sont ensuite pondérées selon les courbes isosoniques de Fletcher. La pondération la plus courante correspond à la courbe A.

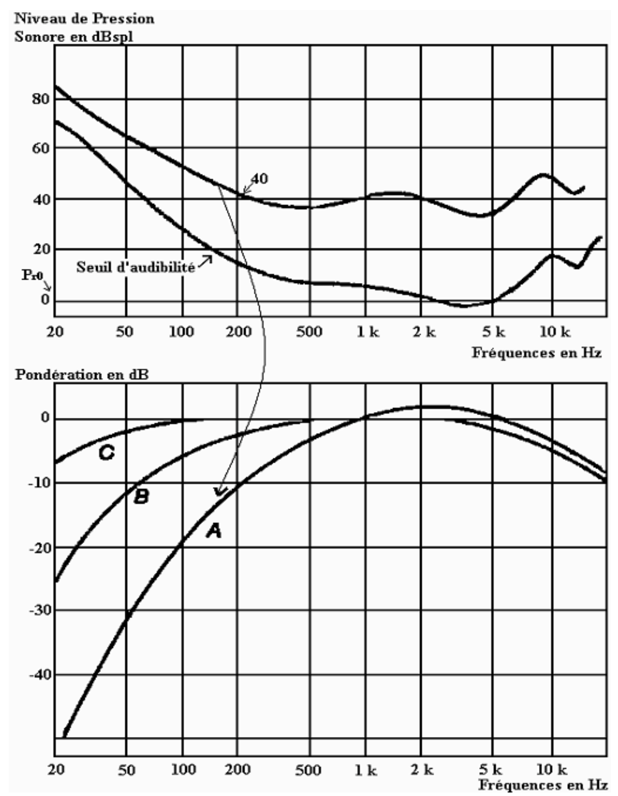


Figure 2 : Courbes de pondération normalisée pour le passage de dB spl en dB(A), (B) ou (C).
Source : http://www.iutenligne.net/ressources/electronique/Baudet/Le-decibel-en-acoustique/definitiondudba/index.html

Les signaux utilisés peuvent être des sinus, du bruit rose ou même de la musique (sans que plus de précisions ne soient données). La diversité des signaux et les valeurs fournies par les constructeurs montrent que les méthodes sont multiples. Il est vraiment difficile à ce niveau de comparer les produits entre eux.

Exemples :	***KRK VXT8***	*Max SPL*	*Music : 111dB*	*Peak : 114dB*
	JBL 4425	*Max SPL*	*Noise : 114dB*	*Sinus (rampe) : cf. Figure 3*

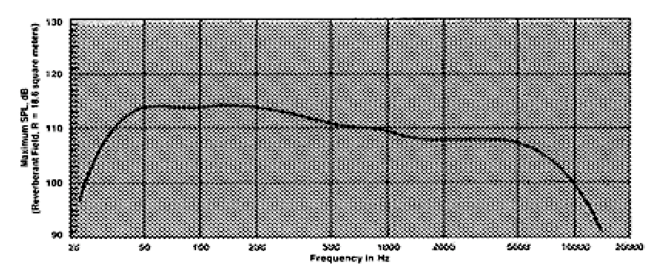


Figure 3 : Enceinte JBL 4425 : tracé du SPLmax en fonction de la fréquence

Les mesures du SPLmax sont parfois très détaillées, avec plusieurs mesures par bande de fréquences moyennées.

Exemples :

Genelec 1038A

Maximum short term sine wave acoustic output on axis in half space averaged from 100 Hz to 3 kHz :	*@1m >120 dB SPL // @0.5m >126 dB SPL*
Maximum long term RMS acoustic output in same conditions with IEC-weighted noise (limited by driver unit protection circuit) :	*@1m >116 dB SPL // @0.5m >122 dB SPL*
Maximum peak acoustic output per pair from the engineer with music material :	*@ 2m >124 dB SPL*

Pour cette enceinte Genelec, la pression SPLmax a été mesurée à 1m et à 50cm de l'enceinte, avec un sinus à court terme et un bruit à long terme (respectant une calibration IEC), en plaçant le microphone devant une enceinte puis devant deux enceintes.

***JBL 4425** - Descriptif détaillé des conditions dans lesquelles ont été effectuées les mesures du SPL :*

SPL in dB ref 20 μ Pa. These SPLs are measured in the reverberant field of a reference room of 85 m³ (3000 ft³) with an absorption of 18.6 metric Sabins (200 ft²). The continuous program maximum SPL is based on the noise spectrum and power listed in the specification for maximum continuous program power input ~~(see note 2)~~. The graph of maximum continuous sine wave SPL ~~(Fig. 10)~~ shows the maximum SPL the system can generate at each frequency ~~when the input levels of Fig. 11 are applied.~~

En résumé

- Sensibilité :
  - L'unité est normalisée : *X* dB pour 1 watt à 1 mètre,
  - Les signaux utilisés ne sont pas précisés,
  - Quel matériel de mesure ?
  - Quels locaux ?

- SPLmax :
  - Sinus, bruit rose ou musique,
  - Des mesures très précises peuvent être fournies et bien documentées,
  - La comparaison des produits de différentes marques est difficile à cause de la (trop) grande diversité des méthodes pratiquées par les constructeurs : distance des micros par rapport à la source, définition du seuil (distorsion ou limite mécanique), choix des sources sonores…
  - Quel matériel de mesure ?
  - Quels locaux ?

Remarque : Les mesures de la pression SPL s'expriment en dB ce qui rapproche les résultats d'une certaine réalité perceptive.

A.2.3. Puissance efficace (RMS)

La puissance délivrée par un amplificateur est une indication de la quantité d'énergie électrique que ce dernier peut fournir pour mettre en mouvement un ou plusieurs haut-parleurs. L'unité est le watt sachant que 1 watt correspond à une dépense d'énergie de 1 joule par seconde.

Il existe plusieurs types de puissances : la puissance efficace (ou RMS), la puissance musicale, la puissance crête à crête, la puissance DIN… Seule la puissance efficace est à retenir. Certaines puissances ne sont pas adaptées au matériel audio, d'autres permettent de gonfler artificiellement les chiffres afin de rendre le produit plus attractif.

Exemple : *La puissance musicale (n'a pas de réalité physique) : 100 watts musicaux = 50 watts RMS*
La puissance DIN (norme Allemande) : 100 watts DIN = 60 watts RMS

Les watts efficaces (ou watts RMS) sont donc les « vrais » watts c'est-à-dire qu'ils informent sur la puissance que doit pouvoir fournir l'amplificateur à tout moment. RMS signifie « Root Mean Square » en anglais, soit « Racine de la Moyenne du Carré de la tension » en français.

La puissance seule n'est pas pertinente : elle n'est pas une information suffisante pour savoir si le son perçu sera fort, dynamique ou fidèle. Le volume sonore dépend de la puissance des amplificateurs mais aussi de la sensibilité de l'enceinte (en dB SPL) et de son impédance électrique.

Exemple : ***Genelec 1038A***
Bass amplifier output power with a 4 Ohm load : 400W
Midrange amplifier output power with an 8 Ohm load : 120W
Treble amplifier output power with an 8 Ohm load : 120W

Selon la gamme du produit, la puissance peut être donnée sans explication !

Exemple : ***KRK V8II***
Basses fréquences : 120W
Hautes fréquences : 60W

La puissance devrait être mesurée à court terme et à moyen terme car elle doit rendre compte de la stabilité de l'amplificateur. Tous les constructeurs ne le font pas.

De même que pour la mesure du SPLmax, chaque fabriquant semble avoir effectué des mesures selon ses propres méthodes. Voici une compilation des informations les plus précises fournies par JBL et Mackie,

JBL 4670D *Puissance : 400W sous 4ohms sur du bruit rose diffusé en continu pendant deux heures*

« Rating based on test signal of filtered random noise conforming to the international standard IEC 268-l (pink noise with 12 dB per octave rollof below 40 Hz and above 5000 Hz with a peak-to-average ratio of 6 dB), two hours duration »

JBL 8330 *Puissance : 100W sous 4ohms sur du bruit rose diffusé en continu pendant deux heures*
400W peak à court terme

« Ratind based on test signal of IEC filtered random noise with a peak-to-average ratio of 6dB, two hours duration »

Mackie HR824mk2 *Puissance de l'amplificateur basse fréquence sous 4 ohms,*
sinus à 1kHz pour un taux de distorsion harmonique de 1% : 150W
Puissance maximale : 350W

Puissance de l'amplificateur hautes fréquences sous 6 ohms,
sinus à 1kHz pour un taux de distorsion harmonique de 1% : 100W
Puissance maximale : 210W

Remarque : le LNE soumet le matériel à des tests de 200h en continu pour effectuer des relevés de

puissance.

<u>En résumé</u>

- Sinus à 1kHz ou bruit rose,
- Des mesures très précises peuvent être fournies et bien documentées,
- La comparaison des produits de différentes marques est difficile à cause de la (trop) grande diversité des méthodes pratiquées par les constructeurs,
- La distinction entre puissance à court terme et moyen terme n'est forcément prise en compte,
- La source choisie n'est pas toujours précisée,
- Quel matériel de mesure ?
- Quels locaux ?

A.2.4. L'impédance électrique

En pratique, l'impédance est à considérer lors de la connexion des périphériques entre eux. Les impédances doivent être adaptées afin d'éviter que la tension ne chute entre par exemple, un microphone et son préamplificateur, ou un amplificateur et ses enceintes. La question se pose notamment lorsque plusieurs paires d'enceintes sont connectées à un seul amplificateur.

L'impédance ne renseigne pas sur la valeur qualitative du produit. Par contre, l'impédance électrique d'une enceinte implique des choix pour optimiser le fonctionnement de la chaîne électroacoustique.

📖 *Document à consulter : Annexe 2*
Understanding Impedance
Revue *Sound on Sound*, Janvier 2003
http://www.soundonsound.com/sos/Jan03/articles/impedanceworkshop.asp

A.2.5. Taux de Distorsion Harmonique

La distorsion est liée au comportement non-linéaire d'un ou plusieurs composants de la chaîne électroacoustique comme l'amplificateur ou le haut-parleur. Ces non-linéarités provoquent un enrichissement du spectre du signal d'entrée. L'analyse montre alors un écrêtage de la forme d'onde du signal.

La distorsion harmonique fait apparaître des fréquences dont la valeur est un multiple entier de la fondamentale. Le spectre résultant est harmonique, d'où l'appellation « distorsion harmonique ».

Exemple :	*Signal entrant :*	*un sinus de fréquence*	*F0 = 100Hz*
	Signal sortant :	*un signal plus complexe composé de*	*F0 = 100Hz*
			et F1 = ***2*** *x F0 = 200Hz*
			et F2 = ***3*** *x F0 = 300Hz*

La distorsion harmonique est exprimée sous la forme d'un pourcentage : le taux de distorsion harmonique (ou THD en anglais). Il s'agit du ratio entre l'intensité en dB des fréquences apportées par la distorsion et l'intensité en dB de la fondamentale.

Le signal d'entrée est généralement un sinus. On fait varier par exemple la puissance de l'amplificateur ou la fréquence du signal entrant et analyse le signal sortant.

Exemples :

Genelec 1029A	*Amplifier system distortion at nominal output :*		*THD < 0.08%* *SMPTE-IM < 0.08%* *CCIF-IM < 0.08%* *DIM 100 < 0.08%*
	Harmonic distortion at 85 dB SPL *@ 1m on axis :*	*Freq :*	*75...150 Hz < 3%* *> 150 Hz < 1%*
Genelec 1031A	*Amplifier system distortion at nominal output :*		*THD < 0.05%* *SMPTE-IM < 0.05%* *CCIF-IM < 0.05%* *DIM 100 < 0.05%*
	Harmonic distortion at 90 dB SPL *@ 1m on axis :*	*Freq :*	*50...100 Hz < 1%* *> 100 Hz < 0.5%*
Genelec 1038A	*Amplifier system distortion at nominal output :*		*THD < 0.05%* *SMPTE-IM < 0.05%* *CCIF-IM < 0.05%* *DIM 100 < 0.05%*
	Harmonic distortion at 95 dB SPL *@ 1m on axis :*	*Freq:*	*50...100 Hz <1%* *>100 Hz <0.5%*

Pour ces trois produits Genelec, on constate que le THD des enceintes est mesuré pour trois niveaux de pression SPL différents.

Le THD n'est pas systématiquement mesuré pour les enceintes. Le THD est surtout calculé pour les amplificateurs. Ainsi, JBL ne donne aucune information sur le THD car les enceintes sont passives.

Mackie HR824mk2	*Amplificateur basses fréquences :* *- distortion (THD, SMPTE IMD, DIM 100) :*	*< 0.035%*
	Amplificateur hautes fréquences : *- distortion (THD, SMPTE IMD, DIM 100) :*	*< 0.035%*

Une autre façon d'exprimer le taux de distorsion harmonique…

Dynaudio AIR6	*THD+Bruit*	*< -105 dB typ. @ 1 kHz, -3 dBFS*

Remarques :

- Mackie tient compte du THD pour mesurer de la puissance RMS de son amplificateur. Pour l'enceinte HR824mk2, le THD est inférieur à 1%,
- La pression SPLmax peut également être mesurée en fonction du THD. Ce mode d'évaluation est adopté par le LNE.

En résumé

- Sinus (rampe) pour la mesure du THD des enceintes,
- Position des microphones à 1m,
- Des mesures très précises peuvent être fournies et bien documentées,
- La comparaison des produits des différentes marques est difficile à cause de la (trop) grande diversité des méthodes pratiquées par les constructeurs,
- Quel matériel de mesure ?
- Quels locaux ?

A.2.6. Rapport « Signal sur Bruit »

Le rapport « Signal sur Bruit » permet d'évaluer la part de bruit propre de l'électronique dans le signal audio perçu. Le bruit est émis par les enceintes mais provient surtout des amplificateurs. Le rapport est exprimé en dB. Plus la valeur en dB est élevée, plus le bruit propre sera considéré comme faible comparativement au signal.

Exemples :

Genelec 1038A *Signal to Noise ratio, referred to full output : Bass > 100dB*
Midrange > 100 dB
Treble > 100 dB

Mackie HR824mk2 *Amplificateur basses fréquences*
Signal-to-Noise
(20Hz-20kHz, unweighted, referenced to 150W into 4 ohms) : > 102 dB

Amplificateur hautes fréquences
Signal-to-Noise
(20Hz-20kHz, unweighted, referenced to 100 W into 6 ohms) : > 102 dB

Genelec donne également le bruit propre de l'enceinte (haut-parleurs) :

Exemple : ***Genelec 1038A*** *Self generated noise level*
in free field @ 1m on axis : < 15 dB (A-weighted)

A.2.7. Autres mesures

Certaines mesures non fournies par les constructeurs sont effectuées par des laboratoires indépendants rattachés aux Associations de Consommateurs par exemple ou des journalistes de la presse spécialisée.

Tous les détails ne sont pas forcément révélés mais l'intérêt est ici de voir quels autres paramètres sont évalués.

Cas 1 : La FNAC *(source : Dossier FNAC Éléments séparés stéréo et Home Cinéma 2008)*

Test des amplificateurs

Temps de montée : Plus il est bref, plus il exprime la faculté de transmettre des informations musicales complexes dans leur totalité, surtout dans les fréquences élevées.

Facteur d'amortissement : Il révèle de la capacité de l'amplificateur à bien maîtriser l'enceinte acoustique. Un faible pourcentage montre une bonne maîtrise.

Diaphonie : Désigne la perturbation de l'un des canaux stéréophoniques par le canal voisin. Idem en multicanal. Une électronique de qualité séparera au maximum les différentes voies. Cette séparation s'exprimera par un nombre de décibels (dB) aussi grand que possible.

Test des enceintes acoustiques

Vibration du coffret : Les haut-parleurs font vibrer la « caisse » de l'enceinte acoustique. À certaines fréquences, à une certaine puissance, ce phénomène devient franchement dérangeant. À l'aide d'un accéléromètre, nous relevons le niveau de cette vibration à différentes fréquences.

Pureté des graves : C'est la mesure des déformations engendrées par des harmoniques sur trois fréquences fondamentales du grave, 40, 50 et 60Hz. Facilement audibles, elles deviennent vite très désagréables et perturbantes pour l'écoute.

Directivité : On relève la dégradation de la courbe de réponse sur le plan horizontal à 30° et 45° de l'axe du « tweeter ». Avec des enceintes à faible déperdition latérale, la zone d'écoute stéréo et Home Cinéma sera plus vaste et plus confortable.

📖 *Document à consulter : Annexe 3*
Dossier FNAC : Éléments séparés stéréo et Home Cinéma, sélection des Laboratoires d'essais 2008

Cas 2 : La Revue du Son et du Home Cinéma *(source : n°329 Mai 2008)*

Test des amplificateurs

Onde carrée à basse fréquence et haute fréquence pour évaluer la fidélité de la réponse (THD, temps de montée, amortissement).

Test des enceintes

Pression SPL mesurée à 1m, dans l'axe, à 0° et 30° de l'enceinte pour mesurer la sensibilité moyenne mais aussi la directivité des enceintes. La pression SPL est représentée en tiers d'octave.

Réponse impulsionnelle de l'enceinte pour mesurer le temps de montée et l'amortissement de l'enceinte.

📖 *Document à consulter : Annexe 4*
Extrait du magazine *La Revue du Son* n°329 Mai 2008

A.3. Influence de l'environnement sur les mesures

Quelles que soient les mesures et les équipes impliquées, il demeure une inconnue qui est vraisemblablement la clé de la crédibilité des résultats recueillis : la qualité des infrastructures au sein desquelles sont réalisés les tests. Cela englobe les locaux, le matériel, la compétence du personnel habilité à procéder aux mesures et interpréter les résultats.

L'article *« Comparison of four subwoofer measurement techniques »* présente quatre méthodes de mesure de la pression SPL. Certes il s'agit d'une même mesure mais cette étude révèle l'importance du lieu sur les résultats obtenus.

Objet de l'étude : Mesurer les basses fréquences est délicat notamment à cause des longueurs d'ondes considérables. L'étude a donc cherché à comparer quatre méthodes de mesures des basses fréquences pour trois enceintes de type « subwoofer ».

Voici un rappel des deux premières méthodes qui sont assez proches des pratiques des constructeurs, à savoir la mesure en chambre anéchoïque et en champ libre. Un tableau comparatif des quatre méthodes est dressé dans l'article.

Méthode 1 : Mesure en chambre anéchoïque (méthode SAD)

- Volume de la salle : 387m^3,
- Fréquence de coupure : 70Hz,
- Enceinte posée sur un plateau pivotant avec plusieurs micros placés à différents angles mais à égale distance de la source,
- Pivotement du plateau par paliers de 10° sur tout le cercle avec à chaque fois, un micro dans l'axe pour pouvoir confronter les résultats de chaque microphone,
- Un compromis de 2m a été choisi pour ne pas être trop près des murs, bénéficier d'un recul suffisant pour percevoir un champ diffus, rechercher un meilleur centre acoustique et capter un son moins heurté par la forme de l'enceinte,
- Mesure de la réponse en fréquence,
- Mesure de la directivité d'une enceinte.

Résultats

- L'acoustique de la salle influence les résultats avec des creux à 70Hz et 125Hz,
- Les captures faites à des distances allant de 0.7 à 2m montrent que le champ proche impose un compromis entre la mesure de la directivité et la réponse en fréquence,
- Disposer plusieurs micros a permis de moyenner les résultats et obtenir une tendance plus fiable qu'une prise avec un seul microphone.

Méthode 2 : Mesure en pseudo champ libre (méthode PFF)

- Deux configuration :
  - Une enceinte positionnée en hauteur, à l'aide d'un chariot élévateur, éloignée d'une paroi et du sol (10m d'un mur, 7,5m du sol),
  - Une enceinte posée au sol.
- Microphones positionnés dans l'axe du haut-parleur à 0.11 et 1m de la source,
- Sweep sinusoïdal pour un très bon rapport signal/bruit,
- Situations avec du vent non prises en compte.
- Mesure de la fonction de transfert entre la pression mesurée et le courant électrique injecté.

Résultats

- Bonne méthode pour des mesures en champ proche (distance inférieure à 1m) : les courbes sont alors régulières,
- En champ plus lointain (1m), les réflexions du mur et du sol créent des fluctuations de l'ordre de 1 à 2 dB,
- Davantage d'irrégularités ont été constatées pour l'enceinte suspendue,
- La pression SPL mesurée sur l'enceinte posée au sol est supérieure de +6dB à celle de l'enceinte suspendue.

Ces deux exemples montrent qu'il ne suffit pas d'avoir des mesures dites « normalisées » (comme par exemple la sensibilité dB pour 1W pour 1m) pour obtenir des résultats fiables et équivalents quels que soient les méthodes employées. Pourtant, les méthodes utilisées ne sont pas toujours mentionnées dans les fiches techniques.

📖 *Document à consulter : Annexe 5*
Comparison of four subwoofer measurement techniques
Manuel Melon, Christophe Langrenne, David Rousseau et Philippe Herzog
Journal of the audio engineering society, Vol 55, N°12, 2007 December, pp.1077-1091

B. Tests « subjectifs »

Les tests objectifs et subjectifs sont complémentaires.

Les tests objectifs permettent d'appréhender des caractéristiques techniques afin par exemple de juger des capacités du matériel, de sa fiabilité et de sa conformité aux normes.

Exemples : *- Tel amplificateur peut délivrer une puissance 100watts RMS sous 8 ohms,*
- Telle enceinte dispose de trois voies et de deux évents à tuyères,
- Tel casque est conforme dans sa conception aux normes ISO...

Est-ce pour autant un gage de qualité ? De quelle(s) qualité(s) parle-t-on alors ?

Le matériel audio peut être acheté pour ses caractéristiques techniques mais au final, il sera apprécié pour des qualités sonores perçues. Les tests subjectifs replacent ainsi l'auditeur au cœur de l'étude et permettent l'évaluation de divers matériels dans des conditions d'utilisation « normales » mais aussi « détournées » (comme un test d'écoute au casque de plusieurs enceintes par exemple).

La thèse de Mathieu Lavandier *« Différences entre enceintes acoustiques : une évaluation physique et perceptive »* défend la complémentarité des deux approches mais traite des difficultés à croiser les résultats obtenus tant certains protocoles de mesures objectives sont détachés de toute réalité perceptive.

« Il convient de remarquer qu'il est nécessaire d'effectuer les tests perceptifs dans une pièce correspondant à un salon domestique "moyen", alors que les mesures objectives normalisées doivent être réalisées en chambre anéchoïque ou en salle réverbérante. L'environnement d'un salon domestique tombe malheureusement entre ces deux cas extrêmes. Cette différence d'environnement ne favorise pas le rapprochement des deux types de mesure. » Mathieu Lavandier p.9

📖 *Document à consulter : Annexe 6*
Thèse universitaire « Différences entre enceintes acoustiques : une évaluation physique et perceptive »
Soutenue par *Mathieu Lavandier le 19 Décembre 2005.*
Directeurs de thèse : Philippe Herzog, Sabine Meunier ; Université de la Méditerrannée Aix-Marseille II.

La présentation qui suit a pour objectif d'exposer les principaux critères d'évaluation retenus pour les tests subjectifs, de fournir des documents méthodologiques et de présenter quelques exemples d'application.

B.1. Signaux utilisés

Les tests subjectifs privilégient des morceaux de musique. Ils sont adaptés à l'écoute de différents paramètres du son (balance spectrale, largeur de l'image sonore, profondeur, plans sonores, dynamique, intelligibilité, filtrage, restitution de la stéréophonie…). Chaque laboratoire dispose de ses propres enregistrements.

Une grande importance est accordée à la parole et au chant car l'altération de ces signaux est très sensible. Elle peut être décelée même par des acheteurs lambda (valable par exemple pour du matériel d'entrée de gamme).

Les sinus et les bruits (blancs et roses), corrélés ou non corrélés, sont néanmoins utilisés pour le calibrage d'une installation. Les bruits blancs peuvent rendre compte de la couleur de chaque enceinte et de la balance. Les sinus sont utiles pour percevoir la réponse du local en fonction de la fréquence et envisager des corrections acoustiques.

Les enceintes Dynaudio AIR6 intègrent même dans leur système de diffusion des outils de calibrage qui ont recours à des signaux physiques, issus des méthodes objectives, pour au final une évaluation subjective basée sur l'écoute.

Extrait 1 : Calibrage intégré des enceintes principales - Enceintes Dynaudio AIR6
(Source : Manuel d'utilisation en français p.21)

CALIBRAGE - ENCEINTES PRINCIPALES

Présentation

1. **Sélectionnez le menu Setup du menu principal - puis le menu Calibrate monitor**
2. **Sélectionnez chaque enceinte et réglez le niveau de calibrage à l'aide du CD**

Procédure de calibrage
Le calibrage doit être réalisé de sorte que toutes les enceintes produisent la même pression sonore dans la position d'écoute lorsqu'elles reçoivent le même signal.
Le niveau du signal d'entrée peut être verrouillé sur une pression sonore spécifique produite par les enceintes.

Calibrage entre les canaux
Dans le menu principal :
- Sélectionnez le menu Setup
- Puis sélectionnez le menu Calibrate monitor
- Sélectionnez l'enceinte maître avant gauche (L Front)

Vous pouvez alors visualiser les réglages de cette enceinte.

- Réglez le paramètre Calib sur 0,0 dB
- Lancez la lecture de la plage 11/23 (stéréo deux canaux) ou de la plage 11 (DTS multicanal) du CD.

Les plages contiennent un bruit rose filtré à 500 Hz - 2 kHz.

Ensuite, le niveau de pression sonore est "mesuré" ou évalué à l'oreille.

Passez au canal suivant. Réglez le paramètre Calib sur le même niveau que la première enceinte. Avec une configuration multicanal, réglez les enceintes suivantes.

Calibrage du niveau acoustique
Dans certains domaines de l'industrie audio, le système d'écoute doit se rapporter à des niveaux acoustiques absolus. Sur le CD, les plages mentionnées précédemment sont enregistrées à -20 dBFS. Ce niveau correspond à des niveaux acoustiques qui diffèrent en fonction du domaine :

Film	Vidéo	Musique
83 dB(C)	78 dB(C)	78-93 dB(C)

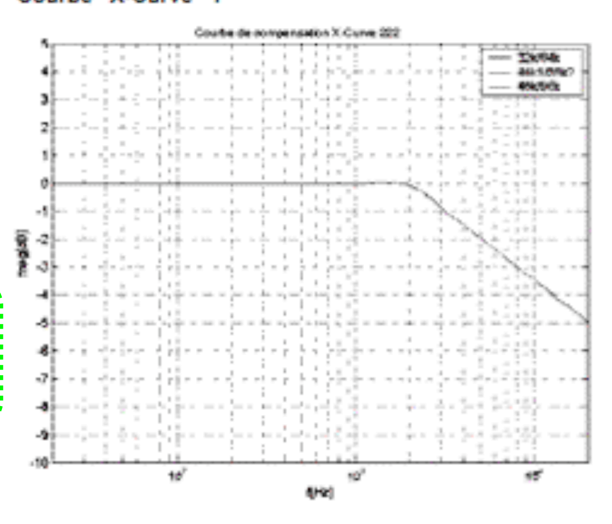
- Sélectionnez la première enceinte (gauche : L).
- Lancez la lecture de la plage du CD destinée à cette enceinte.
- Réglez le paramètre Calib sur 0,0 dB.
- Réglez le volume global jusqu'à ce que le niveau pondéré C soit obtenu sur un sonomètre dans la position d'écoute.
- Passez à l'enceinte suivante.
- Réglez le paramètre Calib jusqu'à obtenir le même niveau pondéré C sur cette enceinte.
- Continuez la procédure jusqu'à ce que toutes les enceintes soient calibrées.
- Quittez le calibrage.

Pour en savoir plus, consultez les pages 38-39.

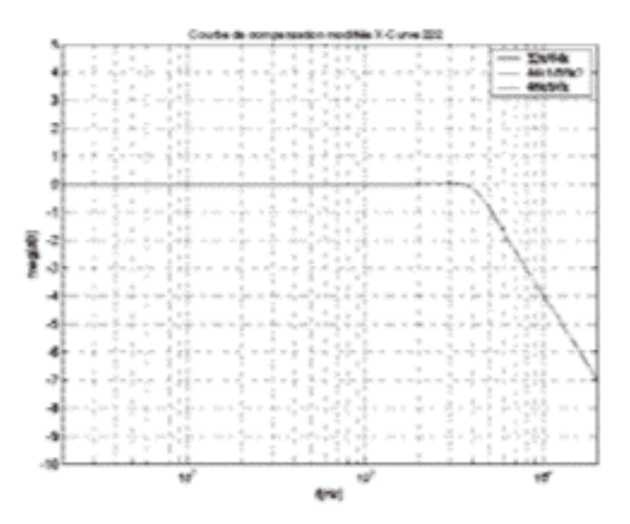
COURBES "X-CURVE"

Dans les petites pièces (définies comme inférieures à 150 mètres cubes), l'ANSI/SMPTE 222M conseille une compensation de la courbe "X-Curve" avec une réponse naturelle linéaire jusqu'à 2 kHz, puis une atténuation de 1,5 dB par octave au-delà de 2 kHz.
Cette courbe s'avère pratique lorsque vous mixez dans une petite pièce et que la lecture est réalisée dans une grande pièce.
Il existe une autre variante de la compensation où l'atténuation des aigus commence à 4 kHz, puis l'atténuation qui s'en suit est de 3 dB par octave au lieu de 1,5 dB.

Courbe "X-Curve" 1



Courbe "X-Curve" 2



Extrait 2 : Calibrage intégré des subwoofer - Enceintes Dynaudio AIR6
(Source : Manuel d'utilisation en français p.24-25)

CALIBRAGE DU SUBWOOFER - avec les enceintes principales

Bi-amplification

La bi-amplification (Bass Management) est un outil essentiel - souvent une nécessité absolue si vous souhaitez réaliser une configuration à 5 canaux dans une petite pièce ! Plusieurs raisons motivent cette nécessité.

Le système de bi-amplification est conçu pour extraire les graves des canaux principaux et les restituer grâce à un Subwoofer. La série AIR propose un certain nombre de fréquences de coupure parmi lesquelles l'utilisateur peut choisir.

Vérification de l'annulation de phase lors de l'addition des graves
Dans une configuration basique à 2 canaux ou une configuration à 5 canaux (comme l'ITU-775), il n'est pas nécessaire d'utiliser un Subwoofer (non spécifié). Mais il faut s'assurer de la qualité de restitution du mixage pour la production audio destinée aux appareils grand public. De nombreuses configurations grand public comprennent un Subwoofer. Il est donc très important de vérifier le résultat de l'addition des graves. En effet, si le signal est déphasé, les graves s'annulent lors de la sommation des signaux électriques. En revanche, cela ne se produit pas si les graves sont reproduits par les enceintes principales puis additionnés acoustiquement. Le résultat obtenu peut être radicalement différent !

Contrôle des ondes stationnaires
Il peut s'avérer très difficile de placer correctement deux enceintes de manière à éviter l'excitation des ondes stationnaires. La tâche est d'autant plus ardue pour cinq enceintes ! Chaque enceinte doit fonctionner dans les mêmes conditions que les autres, mais c'est rarement le cas.

Les trois enceintes avant peuvent généralement être placées hors des frontières problématiques, ce qui évite l'excitation des ondes stationnaires. Mais dans les pièces de petite taille, les enceintes arrière sont souvent placées dans un coin ou contre un mur. En outre, ces enceintes reproduisent généralement la totalité du spectre, ce qui peut entraîner de graves problèmes et une mauvaise distribution des graves dans la pièce.

Cela explique également la nécessité de la fonction de bi-amplification. En somme : Une seule enceinte (le Subwoofer) doit être placée de manière sûre. Sélectionnez une fréquence de coupure située juste au-dessus de la plage de fréquences problématique.

Calibrage

1. **Menu principal, réglez le volume sur -30 dB**
2. **Menu principal, sélectionnez Bass Management : 80 Hz**
3. **Menu principal, sélectionnez le menu Setup : Niveau de calibrage**
4. **Sélectionnez la tâche de l'enceinte**
5. **Lancez les balayages basses fréquences du CD ; pistes 40-42**
6. **Si nécessaire : Ajustez le niveau ou la fréquence de coupure**
7. **Sauvegardez et quittez. A vous la musique !**

Bi-amplification activée (Bass management On)
Le volume est réglé à un niveau raisonnable (premier paramètre du menu principal), comme -30 dB.
Dans le menu principal, sélectionnez la fonction Bass Management. Si aucune autre préférence n'est définie, la fréquence de coupure est réglée sur 80 Hz.
Si les mesures ou l'écoute des enceintes principales ont révélé une distribution irrégulière du volume ou une réponse en fréquence irrégulière à des fréquences supérieures à 80 Hz, sélectionnez une fréquence de coupure plus élevée.

Vérification de la fréquence de coupure
Pour vérifier l'adéquation de la fréquence de coupure sélectionnée, utilisez le CD fourni. Pour veiller à n'écouter qu'un canal à la fois, sélectionnez l'un des canaux principaux dans le menu Setup/Calibrate monitor. Pour commencer, vous pouvez sélectionner Master Left.
Lancez la lecture des plages du CD comprenant les balayages basses fréquences (pistes 31 à 42). Ecoutez la réponse obtenue ou effectuez des mesures si un sonomètre est connecté.
Sinon, si vous disposez d'un analyseur de spectre, vous pouvez lire les plages du CD comprenant un bruit rose large bande.
Toute réponse en fréquence irrégulière sur la fréquence de coupure doit être évitée.
Si nécessaire, revenez au réglage de la fréquence de coupure dans le menu Bass management et sélectionnez une fréquence de coupure appropriée.
Après avoir réglé un canal, contrôlez les autres canaux un à un, puis finalement contrôlez tous les canaux à la fois. Votre système est alors calibré.
Pour en savoir plus, consultez la section relative au réglage de la phase en page 25. Consultez aussi la page 37.

Trois autres paramètres à prendre en compte lors de la configuration du Subwoofer :

Filtre passe-bas LFE (LFE LP)
Permet d'activer (On) ou de désactiver (Off) un filtre passe-bas très sélectif (7è ordre) à 120 Hz. Lorsqu'il est activé, la partie du signal LFE située au-dessus de 120 Hz est filtrée. Activez ce filtre lorsque vous n'utilisez pas de codeur et désactivez-le lorsque le signal est passé par un codeur/décodeur (la plupart des codeurs (DTS, Dolby, etc.) utilisent un filtre passe-bas anti-Aliasing). Par conséquent, dans le domaine de la production, il est important d'utiliser ce filtre lors du Monitoring du canal LFE afin de se faire une idée du signal obtenu après codage/décodage (environnement grand public ou cinéma).

CALIBRAGE DU SUBWOOFER - avec les enceintes principales

Paramètre LFE Gain
Plage de réglage : 0 à +14 dB
Le niveau du canal LFE peut être accentué jusqu'à 18 dB grâce à ce paramètre.

Paramètre Polarity
Valeurs : 0 ou 180°
Si le Subwoofer est correctement placé et que vous réglez la polarité sur 180°, vous devriez obtenir une annulation de phase totale au niveau de la fréquence de coupure. Si ce n'est pas le cas, le paramètre Phase décrit ci-dessous doit être ajusté.

Phase
Plage de réglage : 0 à 180°

Réglage de phase
L'intégration d'un Subwoofer AIR Base au système d'enceintes AIR nécessite un réglage sur site. Outre le niveau de calibrage et la sélection d'une fréquence de coupure (X-over) pour la bi-amplification, reste le problème d'alignement des phases. C'est pourquoi le Subwoofer AIR Base dispose d'un réglage de phase de 0 à 180 degrés (par pas de 5 degrés) et d'une fonction d'inversion de phase. Le réglage de ces paramètres dépend de plusieurs facteurs :

1. Caractéristiques acoustiques de la pièce
2. Placement des enceintes et position d'écoute
3. Choix de la fréquence de coupure
4. Type de moniteur AIR (6 ou15)



Les réglages de phase sont automatiquement sauvegardés et liés à la fréquence de coupure sélectionnée.
Les réglages de phase sont des réglages globaux, ils ne sont donc pas sauvegardés avec les Presets individuels.

Réglage initial
Durant le calibrage du logiciel DSP de l'AIR Base, nous avons choisi des réglages par défaut qui étaient optimaux dans **notre** salle d'écoute. Si vous placez l'AIR Base à la même distance de la position d'écoute que vos enceintes AIR, vous pouvez utiliser les réglages de phase par défaut comme base initiale. Si les distances diffèrent nettement, il est peu probable que ces valeurs soient optimales.

Ajustement
A présent, jouez de manière répétée des balayages basses fréquences sur la fréquence de coupure choisie. Vous pouvez utiliser les plages 31-42 du CD de mesure AIR. Entre chaque balayage, modifiez le réglage d'inversion de phase. Notez la différence. Idéalement, le signal doit s'annuler et virtuellement disparaître au niveau ou aux environs de la fréquence de coupure dans l'une des positions du réglage d'inversion de phase. Réglez la phase afin d'obtenir la plus grande différence possible entre les deux positions de l'inversion de phase. Ensuite, sélectionnez la position qui ne produit pas d'annulation.

Répétition
Si vous avez besoin de répéter un peu, vous pouvez de nouveau régler le niveau de calibrage, modifier la fréquence de coupure et/ou le placement des moniteurs, puis recommencer le processus. Soyez patient : le temps passé sur ces réglages n'est pas du temps perdu.

B.2. Protocoles de tests perceptifs

B.2.1. Méthodologie proposée par l'Audio Engineering Society (AES)

L'AES a proposé en 1996 une méthodologie afin de procéder à des tests subjectifs. Cet article est consultable en annexe 7.

Ce dossier est une série de recommandations abordant de nombreuses questions :

- Principales normes ISO et IEC (l'article date de 1996, une actualisation serait vraisemblablement à faire),
- Définition de « tous » les termes relatifs à l'exercice,
- Conseils sur les salles d'écoute et la maîtrise de son acoustique,
- Conseils sur l'aménagement du lieu d'écoute (disposition des enceintes, poste d'écoute),
- Conseils sur la nature des signaux à faire écouter,
- Conseils sur le protocole de test,
- Liste de « tous » les paramètres à évaluer lors de l'écoute critique,
- Présentation des rubriques devant figurer dans le compte-rendu du test,
- Schémas explicatifs, feuilles d'évaluations muettes, bibliographie indicative.



AES recommended practice for profesional audio – Subjective evaluation of loudspeakers
Journal of the Audio Engineering Society, Vol.44, N°5, 1996 May, pp.383-401

B.2.2. Exemple du Laboratoire National de Métrologie et d'Essai (LNE)

Le LNE dispose d'infrastructures remarquables pour réaliser des mesures objectives. Cependant, leurs protocoles de tests intègrent systématiquement des tests subjectifs.

Leur méthode de test appliquée au Son et à l'Image peut être décrite comme suit :

- Procédures normalisées
- Tests « objectifs » : recueil de données chiffrées, de graphiques, analyse et création de courbes d'estimations,
- Tests « subjectifs » : tests psychosensoriels,
- Confrontation des données « subjectives » et « objectives ».

Le LNE dispose d'une salle d'écoute, espace dédié à la mise en place de tests « subjectifs ».

Voici quelques précautions attestant de la qualité du protocole mis en place :

- L'écoute est confiée à des ingénieurs du son (capables de décrypter l'image sonore) non musiciens (pour ne pas accorder d'importance à des paramètres musicaux),
- La durée des tests est limitée. Chaque phase de test est suivie d'une période de pause pour avoir une écoute pertinente à chaque essai. Le nombre de tests par jour est volontairement limité,
- Les parois apparentes de la salle d'écoute masquent l'isolation effective du lieu pour ne pas influencer le sujet (c'est-à-dire celui qui teste le matériel),
- Des rideaux permettent de cacher le matériel et masquer des indices importants comme la marque d'un produit,
- Les tests peuvent être réalisés selon la méthode du « A-B-X en aveugle » qui permet de vérifier immédiatement la validité du jugement du sujet.

B.2.3. Critères d'évaluation retenus par la presse spécialisée

Les lecteurs de la « Revue du Son & du Home cinéma » découvrent à chaque numéro de nouveaux tests de matériels. L'argumentation s'organise systématiquement autour de quatre critères qui, à terme, donnent des pistes d'écoute au lecteur qui souhaiterait évaluer par lui-même du matériel.

Les critères retenus sont analysés grâce à l'écoute d'extraits musicaux appropriés. Chaque test est réalisé par deux personnes qui livrent tour à tour leur jugement.

Cette approche se veut rigoureuse même si beaucoup d'inconnues subsistent (qualité des infrastructures, conditions de réalisation du test, compétence des journalistes, indépendance, politique du magazine…). Cependant, elle est intéressante à connaître à cause de son impact probable sur le grand public, ou du moins, sur les fidèles de la revue.

Le tableau suivant reprend l'intitulé des critères évalués à chaque test et la description des extraits musicaux servant à l'étude telle que mentionnée dans la revue.

Critères évalués	Extraits musicaux utilisés
Dynamique subjective	Percussions, orgues, bandes son
Définition	Bandes son, percussions…
Timbres / Cohérence des registres	Voix, piano, cordes…
Spatialisation / Effet stéréophonique	Bandes son, concerts, orchestre

Tableau 1 : Critères d'analyse et extraits musicaux retenus par la Revue du Son et du Home Cinéma pour évaluer des amplificateurs et des enceintes.

B.2.4. Quelques remarques et résultats sur les protocoles de tests

La thèse de Mathieu Lavandier déjà citée (consultable en Annexe 6) a expérimenté plusieurs méthodes pour comparer des enceintes. Ce travail est parti de l'étude des pratiques existantes qui ont conduit à plusieurs remarques et résultats dont certains sont compilés ci-après.

Remarques sur l'écoute

« Lors d'un test d'écoute, il faut garder à l'esprit que c'est l'enceinte à un niveau de sollicitation donné qui est évaluée. » p.8

« Les normes ou recommandations évoquées précédemment concernant les tests d'écoute sur les enceintes acoustiques [30][31] conseillent d'évaluer trois grandes catégories de caractéristiques de la reproduction sonore : la restitution du timbre, la composante spatiale de la reproduction et la dynamique des enceintes, c'est-à-dire l'évolution de leur comportement en fonction du niveau auquel elles sont sollicitées. » p.9

« Les résultats de ce test ont montré l'importance de la balance spectrale perçue vis-à-vis de la préférence des auditeurs. La perception des basses fréquences constitue un facteur important, et un excès de medium ou d'aigu est perçu de façon négative par les auditeurs. » p.15

« La quantité de distorsion n'est pas apparue comme un critère d'évaluation pertinent pour les systèmes de reproduction impliqués. » p.15

Remarques sur le déroulement du test

« L'expérience doit être menée en double-aveugle [12], l'auditeur ne doit bien sûr pas voir les enceintes ni savoir quelles enceintes il compare, mais l'expérimentateur ne doit pas non plus contrôler l'ordre de présentation des différents modèles. Pour éviter tout effet d'ordre, les enceintes doivent être présentées aléatoirement » p.8

« Une deuxième solution envisageable consiste à enregistrer le son rayonné par différentes enceintes à la même position, et à réaliser ensuite les tests d'écoute au casque. » p.18

« Le premier test a été fait en écoute directe, avec quatre positions différentes des enceintes. Le deuxième test a été effectué à partir d'enregistrements binauraux réalisés dans la même configuration que celle du premier test. Les résultats ont montré que le classement des enceintes selon l'échelle considérée était le même pour les deux tests, le test au casque pouvant être plus discriminant. » p.19

« Ces tests réalisés au casque à partir d'enregistrements permettent une comparaison rapide des enceintes placées à la même position dans la salle d'écoute. Par contre, par rapport à une écoute en direct, le signal délivré aux oreilles de l'auditeur est modifié par les phases d'enregistrement et de restitution au casque. Cette démarche n'est donc pas adaptée aux évaluations absolues de la reproduction sonore. Il semblerait également délicat d'étudier la composante spatiale de la reproduction des enceintes par un tel protocole. Celle-ci pourrait en e et être trop déformée par l'écoute au casque. » p.19

Remarques sur les tests objectifs

« Ils n'ont donc pas conservé une résolution en tiers d'octave, pourtant davantage en accord avec la largeur des filtres auditifs » p.22

« Les recherches de mesures objectives pertinentes vis-à-vis de la perception de la restitution du timbre ont toutes montré que la mesure de la réponse en fréquence des enceintes était déterminante. Mais il reste encore des interrogations concernant la manière la plus adaptée pour effectuer cette mesure. » p.24

« Une chambre anéchoïque constitue un environnement neutre pour les enceintes qui permet de s'affranchir de l'influence de la pièce et d'effectuer une mesure caractéristique des enceintes. Par contre, cette mesure ne considère pas les enceintes dans leur environnement normal d'utilisation.
Avec des mesures en salle d'écoute, c'est l'ensemble enceinte-salle qui est évalué, mais c'est également le cas lors des tests d'écoute. La mesure objective semble donc plus facilement reliable à l'évaluation perceptive correspondante. Par contre, tout comme cette évaluation perceptive, elle sera modifiée lorsqu'une autre pièce sera considérée. Il y a donc un compromis à trouver. » p.24

📖 *Document à consulter : Annexe 6*
Thèse universitaire « Différences entre enceintes acoustiques : une évaluation physique et perceptive »
Soutenue par *Mathieu Lavandier le 19 Décembre 2005.*
Directeurs de thèse : Philippe Herzog, Sabine Meunier ; Université de la Méditerranée Aix-Marseille II.

Conclusion

La caractérisation des périphériques de restitution sonore nécessite la mise en place de tests « objectifs » et « subjectifs » dont les protocoles respectifs s'avèrent complémentaires. Les premiers permettent une évaluation technique du matériel alors que les seconds cherchent à caractériser le signal sonore diffusé. Les constructeurs procèdent généralement à des mesures physiques (objectives) mais ne réalisent pas de tests perceptifs (subjectifs). Ces derniers sont assurés par des laboratoires indépendants travaillant pour des associations de consommateurs, des organismes délivrant des labels ou la presse spécialisée.

Cette étude des méthodes de caractérisation des amplificateurs et des enceintes acoustiques montre notamment que les mesures effectuées au sein des différents laboratoires (constructeurs ou autres) sont difficilement comparables suite à des protocoles légèrement différents ou assez mal décrits pour semer le doute. La connaissance des matériels utilisés et des infrastructures est insuffisante. Une étude des moyens alloués aux tests révèlerait probablement de grandes disparités selon les constructeurs.

En ne considérant que le matériel cité en exemple pour cette étude et constatant qu'il s'agit surtout de matériel haut de gamme pour le segment choisi, il est possible d'affirmer que les protocoles de tests sont menés avec rigueur bien que, une fois de plus, des doutes subsistent.
Un travail rigoureux suppose une approche méthodique et raisonnée. Quel si la méthode d'application qui en découle ne permet pas la confrontation des données obtenues ? En d'autres termes, puisqu'on peut se permettre des moyens d'étude rigoureux, pourquoi ne pas harmoniser les méthodes utiliser?

Des éléments de réponse se trouvent certainement dans la finalité de ces tests et des intérêts de chacun. Les mesures attestent de la conformité du matériel à certaines normes. Le cahier des charges très strict ainsi validé est un atout commercial indéniable. Elles permettent aussi de communiquer sur l'existence de nouveaux brevets et autres avancées technologiques qu'elles exploitent. Elles peuvent ainsi être adressés au client qui, selon son niveau de compétence, saura plus ou moins les interpréter, aux associations professionnelles, et à la presse spécialiser.

Par ailleurs, le marché de l'amplification et des enceintes acoustiques n'est plus un marché naissant bien que des avancées technologiques voient le jour fréquemment. La notoriété des marques est déjà faite. La représentativité sur certains marchés, la labellisation et le ouï-dire ont vraisemblablement plus d'impact sur les ventes que des mesures normalisées facilitant des comparaisons entre produits, comparaisons que les constructeurs n'encouragent pas.

Les tests supposent une certaine connaissance que les industriels ne livreront pas puisque les techniques de vente reposent en partie sur la méconnaissance des clients. D'où un léger doute quant à l'utilité ou la nécessité de procéder à ces mesures si les seuls intéressés potentiels, les clients, ne peuvent les comprendre.

Dans l'hypothèse ou le monde de l'audiovisuel serait demandeur de plus de transparence concernant les méthodes de test des matériel de diffusion, que préconiser pour une amélioration qualitative des usages tout au long de la chaîne audio en secteur audiovisuel ?

En secteur académique, la caractérisation des enceintes acoustiques est une vraie question scientifique, puisque qu'elle correspond en ce moment même à des offres de thèses dans les laboratoires d'acoustique (Thèse Lavandier), offre actuelle du Laboratoire de Mécanique et Acoustique (LAM) de Marseille.

La recherche d'une transparence scientifique n'est pas incompatible avec l'approche industrielle, elle ne peut que compléter l'effort d'initiative pour une industrie ouverte portés par le projet HD3D.

Le secteur académique devrait-il attendre le feu vert des marchés pour progresser dans son expertise des technologies mises en oeuvre par l'industrie ? Il semble que non, dès lors qu'on espère des progrès qualitatifs pour tirer les secteurs industriels vers le haut. Il faudra pour cela convaincre qu'un saut qualitatif dû à la maîtrise des outils peut s'exprimer en terme de plus-value au sein de la chaîne de production des industries de l'audio-visuel. C'est, semble-t-il un des objectifs du projet HD3D/IIO.
Pour aller dans ce sens, on pourrait encourager dans une dynamique collective les fabricants ou mieux, les

utilisateurs du secteur à faire des tests comparatifs des matériels utilisés, par exemple en collaboration avec le Laboratoire National d'Essai (LNE), dont une partie des activités consiste à optimiser et à affiner les méthodes de mesures, objectives ou subjectives. Les préconisations à l'issue des travaux du Lot C2.2 iront certainement dans ce sens.